



Narodowy
Instytut
Dziedzictwa

ZESTAWIENIE WYTYCZNYCH I DOBRYCH PRAKTYK DIGITALIZACYJNYCH

DLA WYKONAWCÓW DOKUMENTACJI ZABYTKÓW ARCHITEKTURY,
DETALU ARCHITEKTONICZNEGO I WYPOSAŻENIA,
METODAMI SKANOWANIA I MODELOWANIA TRÓJWYMIAROWEGO

OPRACOWAŁ ZESPÓŁ W SKŁADZIE:

KAROL CZAJKOWSKI
KLARA KANTOROWICZ
RYSZARD ZIMEK

Niniejszy dokument zawiera zalecenia dotyczące podstawowych elementów składowych dokumentacji rysunkowej oraz parametry techniczne odwzorowania wraz z pożądanymi formatami plików, dla sporządzania dokumentacji architektonicznych zabytkowych obiektów budownictwa drewnianego i murowanego, ich wyposażenia oraz detalu, za pomocą metod cyfrowych – metodą skaningu laserowego, fotogrametrii naziemnej, lotniczej, modelowania bryłowo – powierzchniowego (MESH) a także parametrów wykonywania zdjęć panoramicznych 360 stopni. Poniższe zestawienie, będące wynikiem wielu lat naszych doświadczeń, kierowane jest głównie do beneficjentów programów dotacyjnych, których efekty podlegają walidacji przez Centrum Kompetencji NID. Będzie nam niezmiernie miło, jeśli z wytycznych skorzystają również wszyscy ci, którzy takie prace wykonują i chcieliby się ich efektami podzielić, współtworząc wraz z nami repozytorium portalu Zabytek.pl.

Z uwagi na ciągły rozwój technologii i metod obrazowania, niniejszy zestaw zaleceń będzie modyfikowany w interwałach rocznych.

A. ARCHITEKTURA ZABYTKOWA

1. SKANING LASEROWY I FOTOGRAMETRIA NAZIEMNA I LOTNICZA BLISKIEGO ZASIEGU

Surowe dane, pozyskane w procesie inwentaryzacji, przekazywane do repozytorium:

- **chmura punktów** – model bazowy w rozdzielczości nie mniejszej niż 9 pkt / cm², z zarejestrowanymi wartościami RGB i intensywności, w formacie natywnym urządzenia skanującego.
- **dane geodezyjne XYZ**, wraz z nawiązaniem do państwowego układu współrzędnych geodezyjnych PUWG'2000 w formacie .csv.
- **fotografie** pozyskane zewnętrzną kamerą niemetryczną do celów poglądowych, rekonstrukcji modeli 3D oraz teksturowania w formacie DNG (głębina koloru: nie mniej niż 12 bit na kanał) oraz wywołane do formatu TIFF lub PNG (głębina koloru: 16 bit na kanał).

Opracowania powstałe na podstawie pozyskanych w procesie inwentaryzacji danych, przekazywane do repozytorium:

- **chmura punktów** – odfiltrowana, oczyszczona, zarejestrowana i zorientowana w układzie geodezyjnym państwowym PUWG'2000, zapisana w jednym z formatów: PTS, PTX, E57 wraz z dołączonym raportem złożenia w postaci pliku TXT / PDF.
- **chmura punktów** – w postaci wyseparowanych plików odpowiadających poszczególnym pozycjom skanera, odfiltrowana, oczyszczona, zarejestrowana i zorientowana w układzie geodezyjnym państwowym PUWG'2000, zapisana w jednym z formatów: POD, E57 wraz z dołączonym raportem złożenia w postaci pliku TXT.
- **ortofotoplany** ścian, elewacji, polichromii, sufitów i podłóg w rozdzielczości nie niższej niż 2 mm /px w formacie TIFF wraz z plikiem georeferencji.
- **rysunki** elewacji w skali 1:50 - 1:10, zależnie od charakteru opracowania, w formacie DWG i PDF. Rysunki elewacji powinny przedstawiać widoki wszystkich ścian w obiekcie. W obiektach o skomplikowanej bryle widoki ścian „zasłanianych” przez inne elementy budynku powinny być wrysowane na odpowiednich przekrojach. Istotne jest aby na elewacjach oznaczone były wszelkie ubytki, uszkodzenia, pęknięcia czy zawilgocenia murów. Niekiedy wskazane jest wykonanie osobnego rysunku pokazującego ubytki. Na rysunkach elewacji wrysowane powinny być (przynajmniej fragmentarycznie) widoczne elementy budowlane: cegły, kamienie, elementy pokrycia dachowego itp.
- **przekroje i rzuty** budynku, kondygnacji, zależnie od charakteru opracowania, w skali 1:50 - 1:20 (w uzasadnionych przypadkach 1:100), w formacie DWG i PDF. Dla zabytków zakres opracowania powinien obejmować wszystkie kondygnacje, więźbę dachową i rzut dachu. Poziom przekrojów poziomych powinien być poprowadzony na wysokości metra nad posadzką, ale dopuszczalne są niewielkie odstępstwa w celu pokazania jak najpełniejszego obrazu wszystkich elementów obiektu i wyposażenia.

Szczegółową specyfikację rysunków opisano w pkt 3.

- **plan sytuacyjno-wysokościowy**, w formacie DWG i PDF, zawierający: rzut (rzut dachu lub obrys zewnętrzny w poziomie parteru budynku) wraz z elementami otoczenia, oznaczenie charakterystycznych poziomów (przy wejściach do obiektu), najbliższe sąsiadujące obiekty oraz ukształtowanie terenu. Wykonywany na bazie aktualnej mapy geodezyjnej

- **modele MESH** w formatach .OBJ, .FBX, w rozdzielczości zależnej od zakresu opracowania. Szczegółową specyfikację modeli opisano w pkt 2.

2. MODELOWANIE BRYŁOWO - POWIERZCHNIOWE (MESH) OBIEKTÓW ARCHITEKTURY

Model podstawowy (MESH) złożony z poligonów trójkątnych

Dokładność odwzorowania powierzchni, mierzona w GSD (Ground Sample Distance) nie powinna być mniejsza niż:

- dla obiektów architektonicznych: 0.12 cm/px
- dla obiektów małej architektury (detale architektoniczne, rzeźby itp.) – 0.05 cm/px

W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić wystarczającą odległość od fotografowanego obiektu, która zapewni utrzymanie w/w wskaźników. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może mieć wadliwych, podwójnych trójkątów bądź wierzchołków.

Eksport modelu na potrzeby archiwizacji

Model powinien być wyeksportowany do pliku w formacie .fbx w swojej maksymalnej rozdzielczości (tj. maksymalnej ilości wierzchołków pozyskanych w procesie generowania chmury punktów wraz z informacją o kolorze wierzchołków (vertex color).

Model MESH do celów prezentacyjnych, multimedialnych i udostępniania w sieci web

Model (MESH) opracowany metodą retopologii (gdzie bazą są modele podstawowe MESH o poligonach trójkątnych lub chmura punktów a produktem końcowym uporządkowane siatki trójkątów wraz z rozłożonymi koordynatami UV).

Dokładność odwzorowania powierzchni na teksturach koloru (mapa koloru) oraz mapach mikropowierzchni (mapa normal) mierzona w GSD (Ground Sample Distance) nie powinna być mniejsza niż:

- dla obiektów architektonicznych: 0.12 cm/px
- dla obiektów małej architektury (detale architektoniczne, rzeźby itp.) – 0.05 cm/px

Dane o mikro powierzchniach powinny zostać przeniesione z modelu podstawowego (MESH) poprzez wygenerowanie map typu normal.

W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić wystarczającą odległość od fotografowanego obiektu, która zapewni utrzymanie w/w wskaźników. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może mieć wadliwych, podwójnych trójkątów bądź wierzchołków. Musi mieć rozłożone koordynaty UV.

Model na potrzeby wizualizacji / prezentacji online

Model po procesie retopologii (zmniejszenia ilości wierzchołków) powinien być wyeksportowany do pliku w formacie .obj lub .fbx z wygenerowanymi koordynatami UV (jedną mapą UV – UV map) oraz kompletem

tekstur (por. niżej) – maksymalna ilość wierzchołków jest zależna od możliwości silników wizualizacyjnych czasu rzeczywistego czy przeglądark online plików 3D (np. obecnie 10.2022 dla internetowej przeglądarki plików 3D Sketchfab ilość wierzchołków, która zapewnia płynne działanie przeglądarki, to nie więcej niż 4 miliony wierzchołków).

Tekstura modelu powinna zawierać obraz(y) w formacie JPEG, PNG, o rozdzielczości 8192 x 8192 pikseli o głębi koloru 8 bitów na kanał lub większej, z wyjątkiem mapy normal – w formacie PNG 16 bit na kanał.

Na komplet tekstur wygenerowanych w procesie fotogrametrycznym składają się:

- mapa koloru – color map
- normal map przenosząca informację o mikro powierzchniach
- displacement map (opcjonalnie)
- AO map (opcjonalnie)

Model może mieć więcej niż 1 komplet tekstur. Każdy model musi mieć koordynaty UV (jedną mapę UV – UV map dla jednego obiektu obsługującą jeden lub więcej obrazów / kompletów tekstur). Model może mieć więcej niż jeden materiał przypisany do swojej geometrii.

Model (MESH) na potrzeby druku 3D - Model (MESH) opracowany metodą retopologii

Wariant modelu przygotowany do druku 3D musi mieć strukturę zamkniętą. Nie może mieć wielokątów o większej ilości wierzchołków niż 3. Ostateczne opracowanie powinno umożliwiać wydruk 3D bez dokonywania dodatkowych czynności na modelu. Model przygotowany do druku 3D nie musi mieć tekstur koloru.

Tworzenie modeli konstrukcyjnych do potrzeb analitycznych

Powinno odpowiadać założeniom na potrzeby których robiony jest dany model. W strategicznych dla modelu elementach konstrukcji należy zachować dokładność do 4 mm. Rozdzielczość uzależniona jest od potrzeb jednak nie mniejsza niż 8 mm. Wyniki analiz mogą być eksportowane jako tekstury z koordynatami UV, ortofotoplany, lub zostać przeniesione na siatkę modelu (kolor wierzchołków).

Modele poglądowe (MESH) więźby dachowej, szkieletu konstrukcji (powstałe na bazie modeli podstawowych bądź poddanych procesowi retopologii)

Dokładność takich modeli nie powinna być mniejsza niż 6 mm i rozdzielczość nie mniejsza niż 10 mm. Model powinien odzwierciedlać detale konstrukcyjne oraz materiał z jakiej wykonano dany obiekt. Końcowy model powinien być wyczyszczony z podwójnych lub nieprawidłowych elementów. Model powinien umożliwiać wydruk 3D bez dokonywania dodatkowych czynności na modelu.

Tekstura modelu powinna zawierać obraz w nieskompresowanym formacie (TIFF, TGA, PNG) o wielkości w przedziale 2048-16384 pikseli. Możliwe jest podzielenie tekstur na mniejsze obszary dla modelu. Każda tekstura musi mieć własne nazwane koordynaty UV.

Możliwe jest użycie modeli NURBS, aczkolwiek wymagane jest przekonwertowanie ich na model MESH a także wyeksportowanie do formatów IGES lub STEP. Pliki NURBS muszą być zespolone z najwyższą tolerancją bez odkrytych krawędzi.

3. UWAGI OGÓLNE DOTYCZĄCE OZNACZEŃ I ZAKRESU OPRACOWAŃ RYSUNKOWYCH

- **Oznaczenia:** każde pomieszczenie opisane numerem własnym, numerem kondygnacji, funkcją, powierzchnią, wysokością oraz rodzajem posadzki. Dodatkowo na wszystkich rzutach należy oznaczyć płaszczyzny przekrojów.

- **Wymiarowanie** powinno określać długość i szerokość pomieszczeń, przekątne, wymiary odcinkowe, grubości ścian. Oznaczyć należy charakterystyczne poziomy, wysokość pomieszczeń (w pomieszczeniach sklepionych wysokość w strzałce sklepienia oraz wysokość oparcia podstawy sklepienia), wysokość parapetów oraz światła otworów.

- **Na rysunkach rzutów** powinny być wrysowane, z dokładnością odpowiednią do przyjętej skali, wszystkie widoczne elementy takie jak:

- wnęki
- uskoki w grubości ścian
- zrzutowanie sklepień z elementami ich konstrukcji i dekoracji sztukatorskiej
- zrzutowanie stropów z belkami stropowymi czy dekoracją sztukatorską (dla lepszej czytelności prezentacji może być wykonane na osobnym rysunku)
- rysunek posadzki zaznaczony fragmentarycznie w miejscach charakterystycznych
- różnice poziomów posadzki
- stolarka okienna (zaznaczana schematycznie z pokazaniem typu i ewentualnie sposobu otwierania)
- stolarka drzwiowa (ze schematycznym oznaczeniem typu i kierunku otwierania)
- w obiektach architektury drewnianej, stolarka okienna i drzwiowa wrysowana szczegółowo z rozbiciem na poszczególne elementy
- teren przylegający do obiektu: nawierzchnie, schody (z oznaczeniem kierunku), tarasy, balustrady, opaski itp.
- mała architektura związana z obiektem architektonicznym
- stałe wyposażenie wrysowane w czytelny dla docelowej skali rysunku stopniu szczegółowości

- **Przekroje podłużne i poprzeczne obiektu** poprowadzone przez charakterystyczne elementy obiektu (komunikacja pionowa, otwory okienne i drzwiowe, różnice w poziomach) powinny ukazywać możliwie najpełniejszy obraz budynku. Koniecznym jest jednak wykonanie minimum 2 przekrojów o prostopadłym do siebie kierunku. W celu pełniejszej identyfikacji obiektu można stosować łamane linie przekroju.

- Na przekrojach należy oznaczyć poziomy za pomocą kot wysokościowych z rzędną bezwzględną (lub odniesioną do założonego poziomu porównawczego). Przekroje powinny być uzupełnione widokami ścian z pokazaniem stałego wyposażenia.

4. PANORAMY 360 stopni

Pliki ze zdjęciami 360 stopni (zdjęcia panoramiczne) powinny:

- Swoim rozmiarem ściśle zachowywać proporcje 2:1
- Posiadać optymalną rozdzielczość nie mniejszą niż 20000x10000 pikseli
- Posiadać przestrzeń barwną AdobeRGB lub sRGB
- Zostać przekazane do repozytorium w pliku JPEG lub TIFF

B. DETAL I ELEMENTY WYPOSAŻENIA

Poniżej prezentowane zalecenia dotyczą podstawowych elementów składowych wykonywanej dokumentacji oraz parametry techniczne odwzorowania wraz z pożądanymi formatami plików, dla sporządzenia produktów digitalizacyjnych obejmujących wyposażenie obiektów zabytkowych. Dotyczą one obiektów małej i średniej wielkości – m.in. ołtarzy, epitafiów, nagrobków, rzeźb, detalu architektonicznego, rejestrowanych metodami fotogrametrycznymi, gdzie produktem digitalizacji są modele powierzchniowo-bryłowe mesh.

1. UWAGI OGÓLNE ZWIĄZANE Z PRZYGOTOWANIEM OBIEKTU I PROWADZONYM PROCESEM DOKUMENTACYJNYM

- Etap przygotowania obiektu do digitalizacji powinien obejmować dokładne oczyszczenie jego powierzchni z zalegających, nie związanych z nim elementów – kurzu, pajęczyn, elementów wtórnie / współcześnie dodanych.
- Dane powinny być zbierane w formacie RAW, w największej możliwej rozdzielczości matrycy, w spektrum barwnym Adobe RGB. Warto w tym miejscu podkreślić, że najlepsze rezultaty otrzymamy przy użyciu obiektywów o stałej ogniskowej, nie przekraczającej zakresu nie mniej niż 24 mm oraz nie więcej niż 50 mm (ekwiwalent pełnej klatki). Zdecydowanie należy unikać obiektywów typu FishEye.
- Proces akwizycji danych powinien przebiegać w optymalnym dla zdjęć oświetleniu, przy możliwie najniższych ustawieniach ISO.
- Wskazaniem jest użycie lamp typu ring oraz odpowiednich filtrów polaryzacyjnych (na obiektywach oraz lampie) – zwłaszcza wtedy, gdy powierzchnia obiektu wykazuje tendencję refleksyjną.
- Rzeczą absolutnie kluczową przy procesie zbierania danych jest kontrola barwna pozyskiwanego materiału. Wiąże się to z bezwzględnym nakazem użycia odpowiedniego wzornika typu Object Level Target zgodnym z przynajmniej jednym systemem kontroli ISO 19264, FADGI, lub Metamorfoze.
- Podobnie rzecz ma się z danymi metrycznymi. Digitalizowany obiekt powinien mieć odniesienie metryczne w postaci targetów pomierzonych tachimetrycznie.
- Należy zadbać o to, by pokrycie zdjęciami, przy minimalnym poziomie overlap wynoszącym 70%, obejmowało całkowitą powierzchnię bryły obiektu. W miarę możliwości należy dotrzeć z sensorem do każdego, również zastoniętego fragmentu.
- Dla obiektów których średnica przekracza 15 cm, przez wzgląd na zakładaną minimalną dokładność odwzorowania powierzchni na poziomie GSD 0.05 cm/px, należy skalkulować możliwą odległość sensora od digitalizowanego obiektu. Istotne w tym wypadku będzie kalkulowanie tej wartości w oparciu o rozmiar matrycy, oraz parametry obiektywu.

- Pamiętając o właściwościach optyki związanych z głębią ostrości, nie należy otwierać przysłony do niższych wartości niż f/8- f/11.
- Czas migawki powinien zostać skalkulowany do możliwości i mocy oświetlenia - warunkiem jest otrzymanie obiektu równomiernie oświetlonego, a ekspozycji nieporuszonej.

2. PARAMETRY MODELOWANIA BRYŁOWO - POWIERZCHNIOWEGO (MESH) DETALU I ELEMENTÓW WYPOSAŻENIA

Model podstawowy (MESH) złożony z poligonów trójkątnych

- Dokładność odwzorowania powierzchni, mierzona w GSD (Ground Sample Distance) nie powinna być mniejsza niż 0.05 cm/px
- W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić wystarczającą odległość od fotografowanego obiektu, która zapewni utrzymanie w/w wskaźników. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może mieć wadliwych, podwójnych trójkątów bądź wierzchołków.
- Eksport modelu na potrzeby archiwizacji - model powinien być wyeksportowany do pliku w formacie .fbx w swojej maksymalnej rozdzielczości (tj. maksymalnej ilości wierzchołków pozyskanych w procesie generowania chmury punktów wraz z informacją o kolorze wierzchołków (vertex color).

Model MESH do celów prezentacyjnych, multimedialnych i udostępniania w sieci web

Model (MESH) opracowany metodą retopologii (gdzie bazą są modele podstawowe MESH o poligonach trójkątnych lub chmura punktów a produktem końcowym uporządkowane siatki trójkątów wraz z rozłożonymi koordynatami UV).

- Dokładność odwzorowania powierzchni na teksturach koloru (mapa koloru) oraz mapach mikropowierzchni (mapa normal) mierzona w GSD (Ground Sample Distance) dla obiektów małej architektury (detale architektoniczne, rzeźby itp.) nie powinna być mniejsza niż 0.05 cm/px
- Dane o mikro powierzchniach powinny zostać przeniesione z modelu podstawowego (MESH) poprzez wygenerowanie map typu normal.
- W procesie rejestrowania danych fotogrametrycznych należy zapewnić wystarczającą odległość od fotografowanego obiektu, która zapewni utrzymanie w/w wskaźników. Model nie musi mieć struktury zamkniętej. Nie może mieć wadliwych, podwójnych trójkątów bądź wierzchołków. Musi mieć rozłożone koordynaty UV.

Model (MESH) na potrzeby druku 3D - Model (MESH) opracowany metodą retopologii

Wariant modelu przygotowany do druku 3D musi mieć strukturę zamkniętą. Nie może mieć wielokątów o większej ilości wierzchołków niż 3. Ostateczne opracowanie powinno umożliwiać wydruk 3D bez dokonywania dodatkowych czynności na modelu. Model przygotowany do druku 3D nie musi mieć tekstur koloru.

Tworzenie modeli konstrukcyjnych do potrzeb analitycznych powinno odpowiadać założeniom na potrzeby których robiony jest dany model. W strategicznych dla modelu elementach konstrukcji należy zachować dokładność do 4 mm. Rozdzielczość uzależniona jest od potrzeb jednak nie mniejsza niż 8 mm. Wyniki analiz mogą być eksportowane jako tekstury z koordynatami UV, ortofotoplany, lub zostać przeniesione na siatkę modelu (kolor wierzchołków).

3. KAŻDY PRZEKAZANY PAKIET INFORMACJI DOTYCZĄCY DIGITALIZOWANEGO OBIEKTU POWINIEN ZAWIERAĆ:

- Komplet fotograficznych danych źródłowych w formacie DNG.
- Plik z pomiarem targetów w formacie csv.
- Profil barwny dla pomiaru wzornika.
- W zależności od charakteru opracowania model (modele) powierzchniowo-bryłowy w formacie OBJ / FBX z kompletem tekstur w nieskompresowanym formacie (TIFF, TGA, PNG, JPEG) o rozdzielczości 8 192 x 8 192 pikseli o głębi koloru 8 bitów na kanał lub większej.
- Plik raportu wygenerowany w stacji fotogrametrycznej, zawierający parametry procesu, w formacie PDF.

C. PREFEROWANE NOŚNIKI ORAZ SCHEMAT ZDEPONOWANIA DANYCH

Przekazanie materiałów do NID powinno nastąpić na nośnikach:

- **Dysk przenośny z interfejsem USB** (2.0, 3.0 lub nowszym) z systemem plików NTFS (rekomendowany), exFAT bądź FAT32.
- **Pamięć typu FLASH** z interfejsem USB (2.0, 3.0 lub nowszym) z systemem plików NTFS (rekomendowany), exFAT bądź FAT32.
- **Dysk sieciowy typu NAS z interfejsem Ethernet.** W takim przypadku konieczne jest podanie konfiguracji interfejsu i konta dostępowego administratora.
- **Inne formy przekazywania** materiałów muszą być konsultowane z NID.